

헬리콥터 진동 감소를 위한 지능형 플랩 로터의 설계

Design of an Intelligent Rotor with Flap for Vibration Reduction in Helicopters

이재환† · 김태성* · 신상준**

Jaehwan Lee, Taeseong Kim, and SangJoon Shin

1. 서론

헬리콥터의 회전익은 비정상 공력환경 하에 놓여 있기 때문에 높은 공력 소음과 심각한 진동하중을 수반한다. 또한 기존의 조종계통은 공력소음과 진동하중을 발생시키는 하나의 근원이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 많은 연구들이 진행되었으며, 동역학적 해석을 통해 블레이드의 뒷전 플랩을 1/rev 이상으로 고차조화 제어할 경우 로터 블레이드에서 발생하는 진동하중을 효과적으로 저감하는 결과를 보였다. 본 연구에서 개발하는 Seoul National Univ. Flap(SNUF) 블레이드는 지능재료를 이용하여 뒷전 플랩을 제어하는 Active Trailing-edge Flap(ATF) 방식을 적용 한 것이다. 본 연구의 목표는 압전재료 작동기에 기반한 지능형 뒷전 플랩을 사용하여

- 스위시 판을 사용한 기존의 로터블레이드 조종 시스템을 완전 대체하고,
- 지능형 뒷전 플랩의 고차조화제어를 통하여 로터 블레이드의 진동하중을 감소

를 구현할 수 있는 지능형/신개념 조종계통 로터 블레이드를 설계하는 것이다. 본 논문에서는 연구 초기 단계로서 b 항의 목적을 달성할 수 있는 블레이드를 개발하는 것을 목표로 설계 요구 조건을 정립하고, 이러한 요구 조건을 만족할 수 있도록 구조 및 공력해석을 통해서 연구를 수행하였다.

2. 설계요구 조건

본 연구의 기본적인 설계 요구 조건은 일정한 시위 길이를 갖는 축소 블레이드를 설계하는 것이다. Mach Number, 공력탄성학적 그리고 Lock Number 유사성을 근거하여 다음과 같은 요구 조건이 정립되었다.

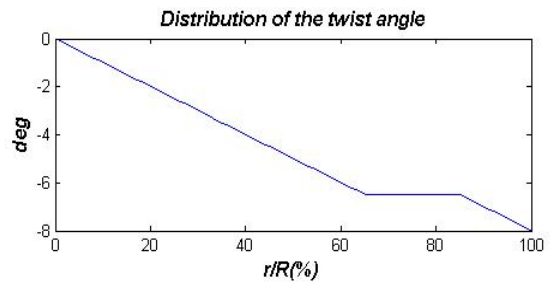
표 1. Design requirement of SNUF Rotor

Property	Value
Articulated rotor	
Rotor radius (cm)	128
Rotation speed (rad/s)	160
Blade chord (cm)	10.24
Hinge offset (cm)	5.12
Root cutout (%)	20
Airfoil type	NACA0012
Tip Mach number	0.60
Lock number	5.0
Mass per unit length (kg/m)	0.55
Pretwist (deg)	-10
GJ (N.m ²)	68
EI _{flap} (N.m ²)	57
EI _{lag} (N.m ²)	1900
EA (N)	4.6×10 ⁶
I _{yy} (kg.m)	2.7×10 ⁻⁵
I _{zz} (kg.m)	2.25×10 ⁻⁴
I _{polar} (kg.m)	2.52×10 ⁻⁴
Flap displacement	±4°

3. 단면설계 및 구조해석

3.1 단면 설계

단면의 형상은 NACA0012 를 채택하였다. 복합재료로 적층하여 C 형의 spar 와 두 개의 web 으로 구성하였다. 이를 바탕으로 전체적인 블레이드의 외형 설계를 수행하였다. SNUF 블레이드는 일정한 시위와 비틀림각을 갖는다. 플랩이 위치하는 부분은 작동기가 위치하며 플랩이 구동되어야 하기 때문에 비틀림 각을 제외하였다. 따라서 블레이드의 비틀림 각은 설계요구조건의 기울기를 유지하며 그래프 1 와 같은 분포를 갖는다. 따라서 블레이드 끝 단에서의 비틀림 각은 -8°가 된다.



그래프 1. Distribution of the twist angle

† 이재환; 서울대학교 기계항공공학부

E-mail : leejh83@snu.ac.kr

Tel : (02) 880-1608, Fax ; (02) 887-2662

* 서울대학교 기계항공공학부

** 서울대학교 기계항공공학부, 항공우주신기술연구소

이를 고려하여 플랩부분을 제외하고 설계된 블레이드의 외형 및 적층 형상은 그림 1과 같다.

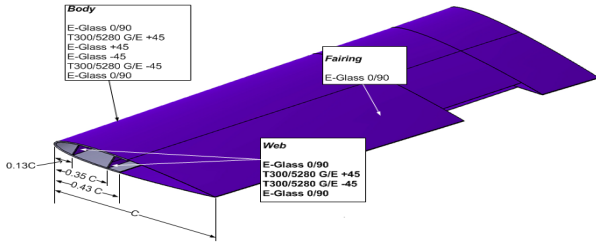


그림 1. Configuration of SNUF blade

3.2 구조해석

단면 구조 해석은 UM/VABS 를 이용하여 수행되었다. 비틀림과 플랩 모드 값의 목표치와의 오차를 감소시키도록 설계가 진행되었다. 해석 결과 질량에서 목표 값과 많은 차이를 보였다. 이는 추후 플랩 구동부의 설계가 완료 된 후에 전체적인 블레이드의 질량분포를 고려하여 C.G 점이 시위 길이의 25% 위치에 오도록 ballast weight 를 추가할 계획이다. Shear center 는 시위 길이의 20.6% 위치에 위치시켰다.

표2. Comparison of the cross sectional properties

	Target Properties	Calculation	Difference
EA	4.600×10^6	3.519×10^6	23.5%
GJ	6.600×10^1	8.092×10^1	22.6%
EI _{flap}	5.700×10^1	5.713×10^1	2.3%
EI _{Jag}	1.900×10^3	1.250×10^3	34.2%
Mass	5.500×10^{-1}	1.727×10^{-1}	68.6%
I _{yy}	2.700×10^{-5}	3.666×10^{-6}	86.4%
I _{zz}	2.250×10^{-4}	8.288×10^{-5}	63.2%

4. 공력 해석 및 작동기 선정

2.1 구조해석

ATF 블레이드에서는 플랩의 변위를 발생시키기 위한 작동기와 플랩의 연결 mechanism 이 설계되어야 한다. 적절한 작동기를 선정하고 연결 mechanism 을 설계하기 위해서는 플랩 힌지에서 발생하는 모멘트의 예측이 수행되어야 한다. 본 연구에서는 플랩 힌지 모멘트 계산을 위해서 상용프로그램인 FLUENT 를 이용하여 전산유체해석을 수행하였다. Sea level 의 표준 대기 조건을 적용하였으며 압축성과 점성은 고려하지 않았다. 표 3 의 값들을 적용하여 공력해석을 수행하였다.

표3. Parameters for CFD calculation

Flap location	75%R
Flap length	20%
Flap chord	15%
Advance ratio(μ)	0.30
V(advancing side)	215 m/s
March number	0.63(sea level)
Flap deflection(δ)	4deg

위에서 언급 하였듯이 공력 해석 시 압축성 효과를 고려하지 않았다. 그러나, 해석하고자 하는 유동의 속도가 $M = 0.63$ 이기 때문에 비압축성 유동을 적용할 경우 정확한 해석이 이루어 지지 않기 때문에 Galuert factor ($\beta = \sqrt{1-M^2}$)을 적용하여 압축성 효과를 고려하였다. 표 4 는 플랩의 변위가 4°인 경우의 받음각 증가에 따른 플랩 힌지 모멘트의 결과를 나타내고 있다. 받음각이 10°인 경우를 극한의 상황으로 가정하고 그 조건에서 얻어지는 힌지 모멘트를 설계 요구조건으로 선정하였다.

표 4. Hinge moment on the Active Flap blade

α (deg)	Lift coefficient	Flap hinge moment coefficient	Flap hinge moment (N.m)	Flap hinge moment (N.m) (Corrected for compressibility)
0	0.203	0.0405	0.0696	0.0896
5	0.737	0.0485	0.0834	0.1074
10	1.194	0.0573	0.0985	0.1268

4.2 작동기 선정

작동기는 블레이드 내부에 위치해 있기 때문에 블레이드의 형상과 크기에 부합해야 한다. 또한 원하는 운용환경에서 적절한 전기적인 성능 범위 내에서 변위를 만들어 낼 수 있어야 한다. 위의 조건을 만족하는 작동기로 Cedrat 사의 Amplified Piezo-electric Actuators(APA) 200M 이 선택되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 지능형/신개념 조종계통 로터 블레이드를 설계하기 위한 초기 단계로서 요구조건에 맞는 단면을 설계하고 구조해석을 위해 UM/VABS 을 이용하여 수행하였으며, 적절한 작동기와 연결 mechanism 을 선택하기 위해서 FLUENT 을 이용하여 공력해석이 수행되었다. 이를 바탕으로 APA 200M 작동기가 선택되었다. 이를 바탕으로 앞으로 진행될 연구 과제에서는 플랩구동부를 설계를 중점적으로 진행할 계획이다. 플랩구동부가 완성되면 전체적인 블레이드의 설계가 이루어질 것이며, bench 실험 및 회전 실험을 진행할 예정이다.

후 기

본 연구는 한국과학재단에서 주관하는 국제협력사업으로 진행된 연구입니다.